

## Beschreibung

### Permanentmagneterregter Synchronmotor

- 5 Die Erfindung betrifft einen permanentmagneterregten Synchronmotor mit Zahnpulsen im Stator und mit einem Rotor.

Bei gattungsgemäßen permanentmagneterregten Synchronmotoren treten Pendelmomente auf. Eine Schrägung des Läufers oder  
10 Ständers um eine Nutteilung, wie sie bei konventionellen Motoren, in EP 0 545 060 B1 beschrieben ist, kann bei Elektromotoren mit konzentrischer Wicklung, also Zahnpulsen und geringer Nutzahl nicht angewendet werden, da dadurch das Drehmoment zu stark reduziert werden würde.

15

Bei Elektromotoren mit konventioneller Wicklung, d.h. Wicklungen werden in Einziehtechnik hergestellt und bei relativ hoher Nutzahl wird in der Regel um eine Nutteilung geschrägt.

20 Bei Elektromotoren mit Zahnpulsen wird versucht, die Pendelmomente durch besondere Formgebung der Magnete zu reduzieren. Nachteilig dabei ist, dass eine besondere Formgebung der Magnete zu erhöhten Herstellungskosten führt.

25 Demnach liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, einen elektrischen Synchronmotor zu schaffen, dessen Rotor in einfacher Art und Weise gezielt relevante Oberwellen dämpft bzw. ausblendet, um Pendelmomente bzw. die Drehmomentwelligkeit zu reduzieren.

30

Die Lösung der gestellten Aufgabe gelingt durch einen permanentmagneterregten Synchronmotor mit Zahnpulsen im Stator und mit einem Rotor der konstruktive Mittel aufweist, um die fünfte Oberwelle und/oder die siebte Oberwelle des Läuferfeldes zu dämpfen.

Dabei bilden Zahnspulen zumindest einen Teil eines Wicklungssystems des permanentmagneterregten Synchronmotors, wobei die Zahnspulen jeweils nur einen mechanischen Pol, d.h. einen Zahn umfassen.

5

Durch eine Schrägung um eine halbe Nutteilung  $0,5 \times T_n$  bzw. durch eine Schrägung um  $3/5 \times T_n$  wird eine völlige Auslöschung der fünften Oberwelle des Läuferfeldes erreicht. Dabei bezeichnet  $T_n$  eine Nutteilung.

10

Bei einer Schrägung von  $3/7 \times T_n$  wird die siebte Oberwelle des Läuferfeldes ausgelöscht.

15

Die Kombination dieser Schrägung von 60% einer Nutteilung  $T_n$  mit einer Polbedeckung von 85% führt sowohl zur völligen Dämpfung bzw. Auslöschung der fünften als auch der siebten Oberwelle.

20

Auch die Kombination der Schrägung von  $3/7 \times T_n$  mit einer Polbedeckung von ca. 80% führt sowohl zur völligen Dämpfung bzw. Auslöschung der fünften als auch der siebten Oberwelle. Ebenso führt bereits eine Polbedeckung von 80%-/+10% zu einer ausreichenden Dämpfung der fünften Oberwelle.

25

Eine konstruktive Umsetzung der Schrägung muss nicht auf den Rotor oder Stator beschränkt sein; die Wirkung der Schrägung beispielsweise einer halben Nutteilung kann anteilmäßig auf Stator und Rotor aufgeteilt werden. Dabei übernimmt z.B. der Stator eine Hälfte der halben Nutteilung und der Rotor den Rest der Schrägung, um die angestrebte Schrägung zu erreichen.

30

Die Erfindung sowie weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung werden anhand eines schematisch dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Darin zeigt:

## 3

FIG 1 eine prinzipielle Darstellung einer erfindungsgemäßen  
Maschine,

FIG 2 ein Polradfeld einer elektrischen Maschine,

FIG 3 eine perspektivische Darstellung eines erfindungsgemä-  
5 ßen Rotors.

FIG 1 zeigt einen prinzipiellen Blechschnitt eines permanent-  
erregten Synchronmotors 1, mit einem Stator 2 und einem Rotor  
4. Dabei entspricht die Polpaarzahl einem Drittel der Anzahl  
10 der Nuten 3 des Stators 2. Die Anzahl der Zähne 8 beträgt ein  
Vielfaches von drei, d.h. der Strangzahl der Stators 2 und  
ist sinnvollerweise größer oder gleich neun. Der Stator 2 ist  
aus laminierten Blechen aufgebaut, die Nuten 3 aufweisen, in  
die die Wicklungen eingesetzt werden. Die Wicklungen sind da-  
15 bei insbesondere Zahnspulen 6, d.h. eine Zahnpule 6 umfasst  
nur jeweils einen Zahn 8. Der Rotor 4 ist aus Permanentmagne-  
ten 5 aufgebaut, die auch als Plättchen, Ringe oder schalen-  
förmige Magneten ausgeführt sein können. Dabei werden diese  
Permanentmagnete 5 über den axialen Verlauf des Rotors 4 so  
20 magnetisiert oder angeordnet, dass sich die gewünschte Schrä-  
gung einstellt.

Ein derartiger Rotor 4 erzeugt ein Polradfeld gemäß FIG 2 im  
Luftspalt, der folgenden Verlauf hat. Zwischen den Polen gibt  
25 es Pollücken.  $T_p$  ist die Polteilung und  $\alpha$  ist der Polbede-  
ckungsfaktor, der üblicherweise im Bereich 0,8 bis 0,95  
liegt. Je geringer die Polbedeckung  $\alpha$ , umso geringer das ab-  
gegebene Drehmoment des Synchronmotors.  $\alpha = 1$  ist aus her-  
stellungsbedingten Gründen nicht möglich.

30

Das in FIG 2 prinzipiell dargestellte Polradfeld besitzt au-  
ßer der Grundwelle Oberwellen. Hinsichtlich der Pendelmomente  
sind vor allem die Oberwellen der Ordnungszahlen fünf und  
sieben relevant, die es gilt zu dämpfen oder gar komplett zu  
35 eliminieren. Die Höhe dieser Oberwellen hängt wesentlich von  
der Polbedeckung  $\alpha$  ab.

- Um die Pendelmomente zu dämpfen wird der Rotor 4 und/oder der Stator 2 geschrägt. Ein Maß für die Schräglung ist der Schräglungswinkel 7 gemäß FIG 3. aus dem Schräglungswinkel 7 lässt sich ein Schräglungsfaktor definieren, anhand dessen dann sich  
5 die Dämpfung der einzelnen Oberwellen des Luftspaltfeldes ergibt. Die Schräglung des Stators 2 ergibt sich gegebenenfalls durch schräge Anordnung der Nuten 3 des Stators 2 relativ zur Welle 9.
- 10 Erfindungsgemäß wird die drehmomentbildende Grundwelle wenig gedämpft und die relevanten Oberwellen fünf und sieben eliminiert. Beide Oberwellen führen zu Pendelmomenten mit der Ordnungszahl 6p, also dem 6p-fachen der Drehfrequenz, wobei p die Polpaarzahl ist. Eine wirksame Lösung zur Vermeidung der  
15 Pendelmomente erfolgt durch die Schräglung um eine halbe Nutteilung, also  $T_n/2$ . Dabei ergibt sich eine Dämpfung der fünften Oberwellen auf 19% und der siebten Oberwelle auf 13,6%. Zugleich wird das relevanteste Nutrastmoment doppelter Nutfrequenz gedämpft.  
20
- Bei einer Polbedeckung  $\alpha$  von 0,8 oder zumindest in der Nähe von 0,8 ist die fünfte Oberwelle 0. Es muss nun lediglich noch die siebte Oberwelle durch die Schräglung gedämpft werden. Dazu muss die Schräglung kleiner als die halbe Nutteilung  
25 sein, nämlich genau  $3/7 \times T_n$  gleich  $0,4285T_n$ .
- Bei einer üblichen Polbedeckung  $\alpha$  von 0,85 oder um 0,85 bis zu 0,9 ist es günstig, vor allem die fünfte Oberwelle zu dämpfen, entsprechend ist eine Schräglung um mehr als eine  
30 halbe Nutteilung notwendig nämlich  $3/5 \times T_n$ . Bei dieser Schräglung wird die fünfte Oberwelle vollständig gelöscht. Die Schräglung kann sowohl im Rotor 4 als auch im Stator 2 erfolgen. Außerdem ist es möglich, die notwendige Schräglung auf den gesamten Synchronmotor zu verteilen, d.h. sowohl Rotor 4  
35 als auch Stator 2 übernehmen gewisse vorgebbare Schräglungsanteile der insgesamt erforderlichen Schräglung, so dass eine Addition der Schräglungen im Luftspalt erfolgt, und somit die

5

gleiche Wirkung erzielt wird, wie durch die alleinige Schrä-  
gung an Rotor 4 oder Stator 2.

## Patentansprüche

1. Permanentmagneterregter Synchronmotor (1) mit Zahnpulsen (6) im Stator (2) und mit einem Rotor (4) der konstruktive 5 Mittel aufweist, um die fünfte Oberwelle und/oder die siebte Oberwelle des Läuferfeldes zu dämpfen.
2. Permanentmagneterregter Synchronmotor (1), dadurch gekennzeichnet, dass der Rotors (4) und/oder 10 der Stators (2) eine Schrägung aufweisen, die bzgl. des Synchronmotors (1) zwischen einer halben Nutteilung und 60% einer Nutteilung ( $T_n$ ) liegt.
3. Permanentmagneterregter Synchronmotor (1) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, 15 dass eine Polbedeckung ( $\alpha$ ) von 85% vorhanden ist.
4. Permanentmagneterregter Synchronmotor (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass (3) der 20 Rotors (4) und/oder der Stators (2) eine Schrägung aufweisen, die bzgl. des Synchronmotors (1) zwischen einer halben Nutteilung und 0,4285-fachen einer Nutteilung ( $T_n$ ) liegt.
5. Permanentmagneterregter Synchronmotor (1) nach Anspruch 1 oder 4, dadurch gekennzeichnet, 25 dass eine Polbedeckung ( $\alpha$ ) von 80% vorhanden ist.

FIG 1

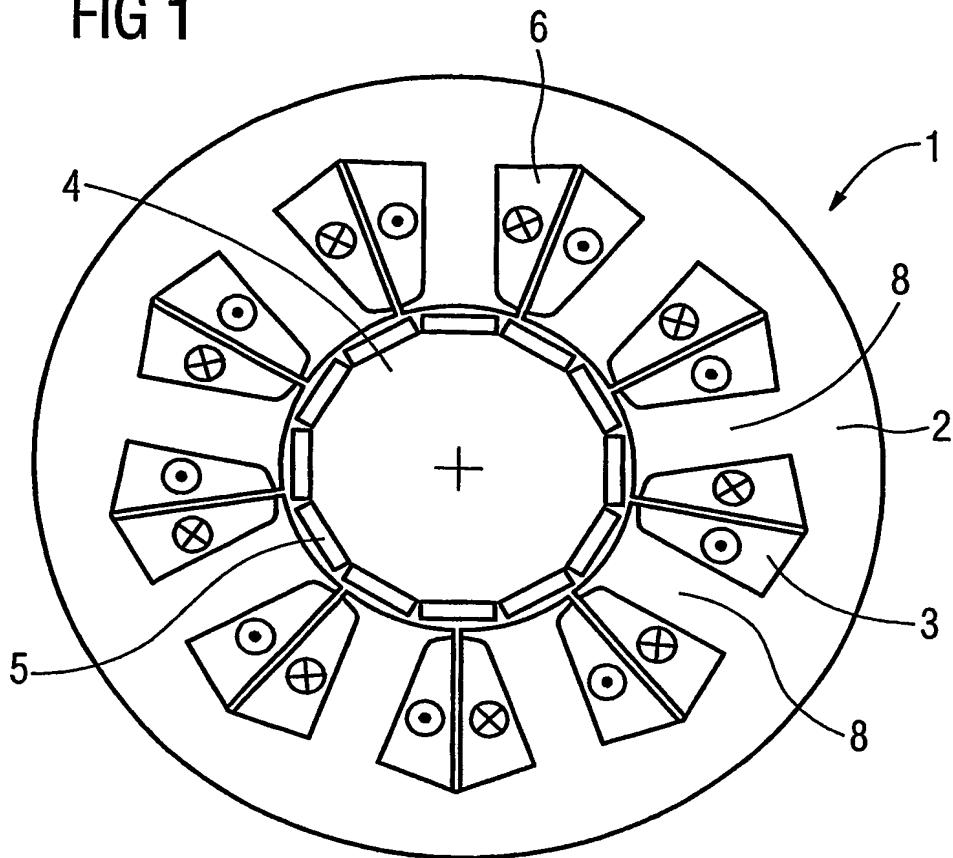


FIG 2

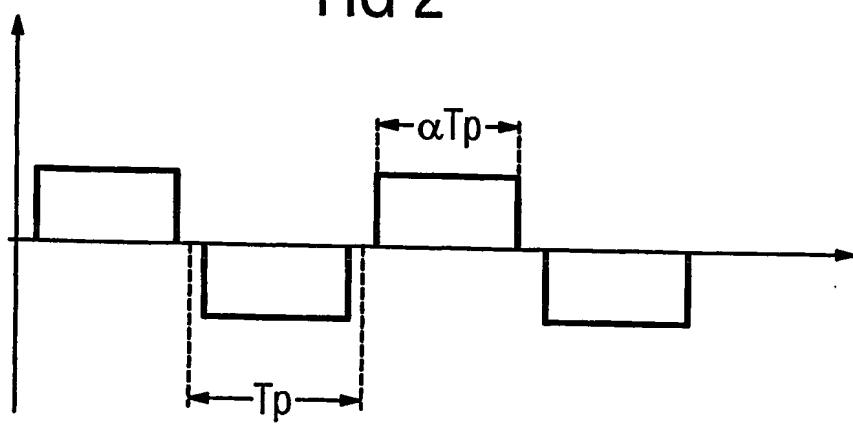
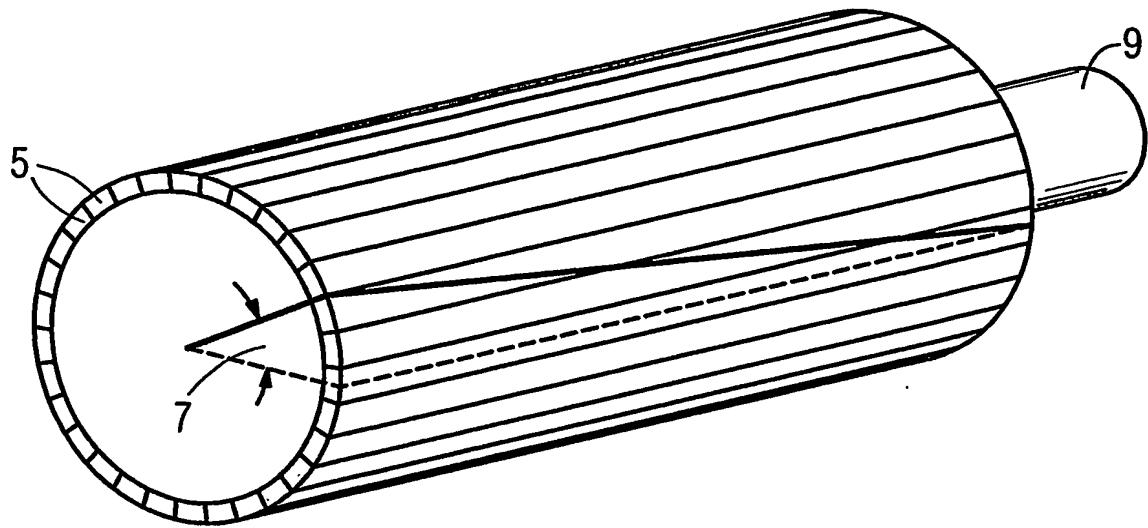


FIG 3



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2004/005937

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 H02K21/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 H02K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data, INSPEC

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	ZHU Z Q ET AL: "INFLUENCE OF DESIGN PARAMETERS ON COGGING TORQUE IN PERMANENT MAGNET MACHINES" IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 15, no. 4, 1 December 2000 (2000-12-01), pages 407-412, XP002206342 ISSN: 0885-8969 page 409; figure 4; table I	1,2,4,5
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 08, 6 October 2000 (2000-10-06) -& JP 2000 134893 A (HITACHI LTD), 12 May 2000 (2000-05-12) abstract; figures 1,2 page 410 - page 411; table III	1,3,5
	-/-	

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed Invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed Invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 September 2004

Date of mailing of the international search report

01/10/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Roy, C

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2004/005937

## C(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 220 228 A (SIBATA YUTAKA) 15 June 1993 (1993-06-15) figure 12 -----	1,2,4
X	US 2002/003382 A1 (MEGATA HIDEKI ET AL) 10 January 2002 (2002-01-10) column 3, line 25 - line 29 -----	1,2,4

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/005937

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
JP 2000134893	A	12-05-2000	NONE		
US 5220228	A	15-06-1993	JP	3106869 U	05-11-1991
US 2002003382	A1	10-01-2002	JP	2001339921 A	07-12-2001
			DE	10125005 A1	06-12-2001
			FR	2809547 A1	30-11-2001
			US	2003048017 A1	13-03-2003

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2004/005937

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 H02K21/12

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole )  
IPK 7 H02K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data, INSPEC

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	ZHU Z Q ET AL: "INFLUENCE OF DESIGN PARAMETERS ON COGGING TORQUE IN PERMANENT MAGNET MACHINES" IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, IEEE INC. NEW YORK, US, Bd. 15, Nr. 4, 1. Dezember 2000 (2000-12-01), Seiten 407-412, XP002206342 ISSN: 0885-8969 Seite 409; Abbildung 4; Tabelle I -----	1,2,4,5
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 2000, Nr. 08, 6. Oktober 2000 (2000-10-06) -& JP 2000 134893 A (HITACHI LTD), 12. Mai 2000 (2000-05-12) Zusammenfassung; Abbildungen 1,2 Seite 410 - Seite 411; Tabelle III ----- -/-	1,3,5

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- \* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldeatum veröffentlicht worden ist
- "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- "P" Veröffentlichung, die vor dem Internationalen Anmeldeatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsatum veröffentlicht worden ist
- "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem Internationalen Anmeldeatum oder dem Prioritätsatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche	Absendedatum des Internationalen Recherchenberichts
23. September 2004	01/10/2004
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Roy, C

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2004/005937**C(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 220 228 A (SIBATA YUTAKA) 15. Juni 1993 (1993-06-15) Abbildung 12	1,2,4
X	US 2002/003382 A1 (MEGATA HIDEKI ET AL) 10. Januar 2002 (2002-01-10) Spalte 3, Zeile 25 – Zeile 29	1,2,4

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/005937

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
JP 2000134893	A	12-05-2000	KEINE			
US 5220228	A	15-06-1993	JP	3106869 U		05-11-1991
US 2002003382	A1	10-01-2002	JP DE FR US	2001339921 A 10125005 A1 2809547 A1 2003048017 A1		07-12-2001 06-12-2001 30-11-2001 13-03-2003

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

### **IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**